

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*



O produtor pergunta, a Embrapa responde

*Israel Alexandre Pereira Filho
José Avelino Santos Rodrigues*

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2015

17 **Sorgo Bioenergia**



*Rafael Augusto da Costa Parrella
André May
Maria Lucia Ferreira Simeone
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert*

442 Quais são as principais características do sorgo sacarino?

O sorgo sacarino é um tipo de sorgo com alto potencial para produção de biomassa. Ele atinge um porte de 3,0 m a 3,5 m de altura e uma produção de massa verde de 50 t/ha a 80 t/ha, num ciclo de 120 dias em média. A maior parte da massa verde produzida é constituída dos colmos, que é de 70% a 80%. Os seus colmos são suculentos, ou seja, apresentam grande quantidade de caldo. Outra característica marcante nesse tipo de sorgo é a produção de açúcares fermentescíveis nos colmos, que pode chegar a concentrações superiores a 160 g/L, dependendo das condições ambientais, época de colheita e da cultivar utilizada. O sorgo sacarino ainda produz de 2 t/ha a 4 t/ha de grãos, os quais podem ser utilizados para alimentação animal.

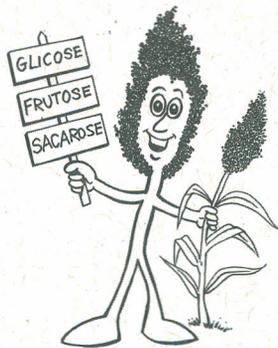
443 Quais são os principais açúcares presentes no caldo do sorgo sacarino?

Os principais açúcares presentes no caldo do sorgo sacarino são a sacarose, a glicose e a frutose. A maior porcentagem é de sacarose (8% a 13%), vindo em seguida a glicose (0,5% a 2,0%) e a frutose (0,5% a 1,5%).

A sacarose é um dissacarídeo formado por duas unidades de açúcar (glicose e frutose). É o principal parâmetro de qualidade tecnológica para produção de açúcar e álcool.

A glicose é um monossacarídeo (composto de uma única unidade de açúcar). É um dos principais produtos da fotossíntese. Juntamente com a frutose, forma carboidratos maiores como a sacarose.

A frutose é um monossacarídeo que está presente em muitas frutas e é mais doce do que a sacarose.



444 O que é o grau Brix do caldo de sorgo sacarino?

Brix é um parâmetro de qualidade tecnológica. É bastante conhecido na indústria do açúcar e do álcool e representa a porcentagem em massa de sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose. Sua unidade de medida é o °Brix. No caso do caldo de sorgo sacarino, esse parâmetro pode variar entre 12 °Brix e 22 °Brix dependendo da cultivar, da época de colheita dos colmos e do sistema de produção. Para medir o °Brix, é necessária a utilização de um equipamento eletrônico chamado refratômetro.

445 O que é período de utilização industrial (PUI) do sorgo sacarino?

Entende-se por PUI o número de dias em que as cultivares de sorgo sacarino apresentam teores de açúcares redutores totais (ART) no caldo acima de 12,5% ou 125 g/L. Esse período deve ser o maior possível e no mínimo 30 dias, para garantir maior flexibilidade para a colheita no campo.

Essa característica pode ser influenciada pelas condições ambientais do campo, como, por exemplo, pela quantidade de chuva. Outro fator que influencia fortemente o PUI é a cultivar utilizada, pois existem no mercado cultivares de PUI curto, variando de 7 a 15 dias, bem como cultivares de PUI longo, maior que 30 dias. Cultivares de maior PUI devem ser priorizadas por garantirem maior estabilidade dos açúcares no caldo e, com isso, apresentarem maior rendimento de etanol.

446 Qual é o ponto ideal de colheita do sorgo sacarino?

Ao contrário da cana-de-açúcar, o sorgo sacarino começa a acumular açúcares nos colmos após o florescimento, que ocorre em média entre 80 e 90 dias após a emergência das plântulas, de acordo com a região de plantio. Dessa forma, a partir do florescimento,

ocorre um aumento significativo dos teores de açúcares nos colmos a cada semana, atingindo o pico de maturação entre 30 e 40 dias após o florescimento. Contudo, fatores ambientais, como quantidade de chuvas, podem interferir no número de dias para atingir o pico de maturação, bem como nos teores mínimo e máximo de açúcar acumulado nos colmos. O ponto ideal de colheita também varia com a cultivar utilizada, pois existem no mercado cultivares com diferenças bastante significativas de ciclos e picos de maturação.

447

Qual é a melhor cultivar para produção de etanol: híbrido ou variedade?

Para produção de etanol, não importa se é híbrido ou variedade, o que importa são seus caracteres agroindustriais como produtividade de colmos, extração de caldo, teor de açúcares no caldo e o PUI, que devem ser o maior possível. Além disso, a adaptabilidade e a estabilidade de produção para os caracteres mencionados são o que realmente deve ser analisado na cultivar.

448

Quais são as principais características do sorgo biomassa?

O sorgo biomassa também é um tipo de sorgo com alto potencial para produção de biomassa. Ele atinge um porte de 5,0 m a 6,0 m de altura e uma produção de massa verde de 120 t/ha a 150 t/ha, num ciclo de 180 dias em média. A maior parte da massa verde produzida é constituída dos colmos, que pode chegar a 80% da biomassa total. Os seus colmos são do tipo seco, ou seja, apresentam baixo rendimento de caldo e não produzem açúcares nos colmos. Chama a atenção o alto teor de fibra desse sorgo, que varia de 22% a 28%, dependendo das condições ambientais, da época de colheita e da cultivar utilizada.

O sorgo biomassa também produz grãos (de 2 t/ha a 4 t/ha) que podem ser utilizados para alimentação animal.

O que é o etanol de segunda geração, 2G ou etanol lignocelulósico?

O etanol de segunda geração, 2G ou lignocelulósico é o etanol produzido a partir da hidrólise ou “quebra” da biomassa vegetal (caule e folhas, principalmente). Como grande porcentagem da biomassa vegetal é constituída de celulose, um componente estrutural da parede celular produzido a partir de cadeias de glicose, pode-se, por meio de um processo específico, realizar a liberação desses açúcares para que possam ser fermentados, e assim produzir o etanol. Os outros componentes principais da biomassa são a hemicelulose, composta de açúcares simples de cinco e seis carbonos, e a lignina, um composto fenólico.

A produção do etanol de segunda geração apresenta quatro etapas principais: pré-tratamento da matéria-prima (biomassa), sacarificação, fermentação e destilação. Como a parede celular é uma estrutura recalcitrante, é importante que inicialmente se faça um pré-tratamento, a fim de “afrouxar” os componentes da biomassa para que possam ser extraídos e expostos aos demais tratamentos.

No pré-tratamento, pode-se aplicar à biomassa fatores físicos (temperatura e pressão), químicos (ácidos ou bases) e enzimáticos, ou uma combinação deles. A etapa seguinte de sacarificação ou hidrólise permite a quebra da celulose e da hemicelulose em açúcares simples, utilizando-se enzimas hidrolíticas. Ao final dessa etapa, os açúcares simples estão disponíveis para serem fermentados por leveduras. O etanol, principal produto da etapa de fermentação, é purificado pelo processo de destilação, última etapa do processo.

Quais são os principais obstáculos na produção comercial do etanol 2G?

Apesar das pesquisas contínuas e de já haver no Brasil exemplos de produção de etanol 2G em escala comercial, o processo para sua produção ainda apresenta alguns obstáculos que podem ou não

ser específicos da cultura utilizada como matéria-prima. Entre os principais problemas, destacam-se:

- Alta concentração de lignina e/ou variações em seus subcomponentes, que podem dificultar a etapa de pré-tratamento, uma vez que a lignina apresenta um efeito de “ligação” entre os demais componentes da biomassa, agindo como uma “cola”. Dessa forma, menores teores de lignina podem facilitar o “afrouxamento” da biomassa para as etapas subsequentes. Além disso, a lignina pode interferir negativamente na etapa de sacarificação, pela adsorção de enzimas ou pela produção de subprodutos de sua degradação, os quais interferem diretamente no processo enzimático. Nesse sentido, a biomassa do sorgo tem vantagem em relação à da cana por já ter naturalmente menos lignina.
- Ausência de leveduras que possam fermentar simultaneamente açúcares de cinco e seis carbonos em escala comercial, o que aumentaria o rendimento do processo por incluir os açúcares de 5C da hemicelulose no processo fermentativo.
- Baixa eficiência e custo alto das enzimas hidrolíticas utilizadas na etapa de sacarificação (hidrólise) da biomassa em açúcares simples. O custo da etapa enzimática ainda é um dos grandes gargalos de todo o processo, mesmo que os preços das enzimas venham sendo reduzidos nos últimos anos.

451

O sorgo cultivado para etanol 2G e para cogeração tem a mesma composição da biomassa?

Não. O sorgo cultivado para etanol 2G deve apresentar uma composição que facilite o processo de conversão da biomassa. Nesse caso, diminuir o conteúdo de lignina é uma forma eficaz de aumentar a eficiência das etapas de pré-tratamento (“afrouxamento” da biomassa) e sacarificação, uma vez que a lignina pode interferir direta ou indiretamente com as enzimas hidrolíticas. Além disso, pela falta de leveduras comerciais que fermentem açúcares de cinco

e seis carbonos (C5, C6) simultaneamente, o ideal é a obtenção de aumento de celulose (apenas C6) em relação à hemicelulose (C5 e C6) para incrementar a produção final de etanol. Entretanto, no caso do uso do sorgo para produção de vapor pela queima de sua biomassa, a situação é inversa. Quanto maior o conteúdo de lignina, maior o poder calorífico da biomassa. Dessa forma, espera-se que cultivares de sorgo biomassa destinados à produção de etanol 2G tenham menor conteúdo de lignina em relação às cultivares destinadas à cogeração de energia.

452

Qual é a vantagem de se utilizarem as cultivares BMR (nervura marrom) para produção de energia?

Cultivares com menor conteúdo de lignina são mais eficientes na conversão da biomassa em etanol 2G. Um exemplo desse tipo de cultivar são as linhagens ou híbridos BMR, do inglês *brown midrib*, que significa nervura marrom. Essas cultivares já são utilizadas para corte e pastejo (BRS810), uma vez que apresentam alta digestibilidade e conversão alimentar, além de maior palatabilidade e valor nutritivo. Os materiais BMR possuem uma mutação em um dos genes importantes para produção de lignina no sorgo, por isso podem apresentar até 50% menos lignina do que o mesmo material sem a mutação. Dessa forma, por meio do melhoramento genético, é possível o desenvolvimento de híbridos BMR que apresentem alta biomassa com menores teores de lignina, ideal para a produção comercial de etanol 2G a partir da biomassa de sorgo.



453

Qual é o poder calorífico do sorgo biomassa?

A determinação do poder calorífico de uma matéria-prima é importante para avaliar seu potencial para uso no processo de

cogeração de energia. É uma medida experimental realizada em laboratório para determinar a quantidade de calor liberada pela combustão completa da unidade de massa (ou volume) de um combustível analisado. O equipamento utilizado para realizar essa análise chama-se calorímetro, e os resultados podem ser expressos em poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI), nas unidades kcal/mol ou MJ/kg. O sorgo biomassa apresentou poder calorífico (PCS) médio de $4.317 \text{ kcal/kg}^{-1}$, resultado comparável ao de outras biomassas, como: capim-elefante (4.200 kcal/kg), *Brachiaria brizantha* (3.900 kcal/kg) e *Eucalyptus grandis* (4.641 kcal/kg).

454

Qual é o arranjo de plantas ideal para as culturas do sorgo sacarino e sorgo biomassa?

A adequação do arranjo de plantas é fundamental para altas produtividades de espécies que produzem biomassa vegetal. Contudo, a escolha do espaçamento entre linhas e da população de plantas ideais para o sorgo sacarino e sorgo biomassa pode variar conforme a cultivar. Mas, em linhas gerais, as pesquisas mostram que as máximas produtividades são alcançadas com o uso de espaçamentos simples reduzidos, como, por exemplo, espaçamentos entre linhas de 0,5 m para sorgo sacarino, e de 0,7 m para sorgo biomassa. Contudo, a escolha do espaçamento entre linhas está atrelada ao tipo disponibilizado de semeadora e colhedora.

Quando o semeio é feito diretamente na palhada de cana, com o uso de semeadoras específicas para essa operação, o espaçamento mínimo entre linhas normalmente está acima de 0,6 m, uma vez que, em espaçamentos mais reduzidos, pode haver embuchamento da máquina, por causa do volume de palha acumulada na semeadora na operação de plantio. Mas o ponto mais grave está no tipo de colhedora disponibilizada, que, normalmente, são as colhedoras de cana utilizadas para a colheita de sorgo sacarino. Nesse caso, o espaçamento simples não é passível de utilização, pois a máquina exige linhas duplas ou triplas, em razão da necessidade de espaços maiores entre as linhas alternadas para passagem da esteira ou

rodado da máquina. Portanto, o dimensionamento do espaçamento entre linhas está bastante atrelado ao parque de máquinas disponível na propriedade.

Embora, os experimentos demonstrem maiores produtividades em linhas simples, operacionalmente essa escolha ainda não é possível. Contudo, novas tecnologias de colheita têm sido desenvolvidas, como é o caso da colheita com ensiladeiras autopropelidas, especialmente reguladas para a produção de toletes acima de 8 cm para sorgo sacarino ou frações de 2 cm para sorgo biomassa. Essas máquinas aceitam a colheita de lavouras semeadas em espaçamentos simples, já que colhem a biomassa produzida por sistema de plataforma. Contudo, algumas cultivares de sorgo sacarino têm melhor desenvolvimento em linhas duplas, principalmente aquelas com desenvolvimento vegetativo mais vigoroso.

Com relação à escolha da população de plantas, as pesquisas demonstram que esteja entre 120 mil a 140 mil plantas por hectare para sorgo sacarino, considerando-se o estande final. Para sorgo biomassa, levando em conta materiais que perfilham muito, o número de plantas deve ser aproximadamente o mesmo apresentado para o sorgo sacarino, contudo, para materiais que perfilham pouco, a população de plantas final deve girar em torno de 175 mil plantas por hectare.

455

Qual é a época de semeio mais adequada para as culturas do sorgo sacarino?

No caso do sorgo sacarino, a época ideal de semeio está atrelada ao interesse na moagem por parte das usinas sucroalcooleiras, que, normalmente, está associado à entressafra da cana/abertura de safra de cana, ou seja, moagem apenas nos meses de março e abril. Assim, para que o sorgo sacarino disponibilize matéria-prima de qualidade em março-abril, o semeio deve ocorrer entre os meses de novembro-dezembro, para materiais precoces (pico de ATR aos 110 dias do semeio). Contudo, o semeio nesses meses pode ser de risco, uma vez que o veranico de janeiro, que ocorre com

muita frequência no Centro-Sul brasileiro, tem grandes chances de afetar o desenvolvimento das plantas, já que o seu efeito negativo coincidirá com o momento em que as plantas estarão definindo a produtividade de biomassa. Assim, no caso dessa cultura, quem governa a época de semeio ideal é a indústria de cana, que exige matéria-prima na abertura de safra, e não propriamente as boas práticas agrícolas, que governam outras culturas anuais de sequeiro, que visam, por sua vez, a maximização da lucratividade por área cultivada.

456

Qual é a época de semeio mais adequada para as culturas do sorgo biomassa?

No caso do sorgo biomassa, para materiais sensíveis ao fotoperíodo e com ciclo longo (180 dias), o semeio deve ocorrer nas primeiras chuvas de outubro-novembro, visando à máxima produtividade de biomassa. Semeios tardios tendem a ter produtividades menores. Contudo, semeios realizados entre setembro e outubro tendem a ser de risco, uma vez que, no Centro-Sul, as chuvas frequentes ocorrem apenas a partir de outubro-novembro. Semeios anteriores à segunda quinzena de setembro, no Centro-Sul brasileiro, não são recomendados, uma vez que existe possibilidade de estímulo ao florescimento precoce, limitando a produtividade de biomassa.

457

Qual é a época de colheita do sorgo biomassa?

Normalmente, o sorgo biomassa floresce no final do mês de março, quando os dias são curtos o suficiente para estimular o florescimento desse tipo de sorgo, que é sensível ao fotoperíodo. Nesse momento, encerra-se o período vegetativo e inicia-se o período reprodutivo com emissão da panícula, enchimento de grãos e redução de umidade na biomassa. Assim, as colheitas devem ocorrer a partir do mês de abril, período que associa máxima



produção de matéria seca com menor umidade da biomassa (60% a 50%). As colheitas no mês de março possuem limitação do alto teor de umidade da biomassa (80% a 70%), que reduz o poder calorífico. Contudo, pesquisas estão em andamento nessa linha, com o intuito de reduzir a umidade por meio do uso de dessecantes.